

廃棄物試料の分析結果

(2及び3号機原子炉格納容器内滞留水、1号機タービン建屋内滞留水・スラッジ、1号機原子炉建屋オペレーティングフロアボーリングコア)

2017年2月23日

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

日本原子力研究開発機構

本資料には、平成26年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に係る研究開発)」成果の一部が含まれている。

無断複製・転載禁止 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

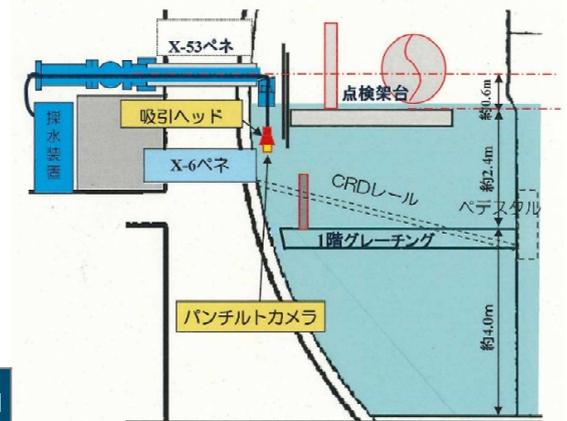
概要

- 事故後に発生した固体廃棄物は、従来の原子力発電所で発生した廃棄物と性状が異なるため、廃棄物の処理・処分の安全性の見通しを得る上で性状把握が不可欠である。
- 原子炉建屋(R/B)及びタービン建屋(T/B)の汚染状況は、これらの廃止措置に伴う廃棄物の性状を推測する上で重要である。注水によって燃料デブリから放射性核種が溶出し汚染水となり、これとの接触によりR/BやT/B内部が汚染している。2及び3号機原子炉格納容器(PCV)内滞留水※および1号機T/B地下で採取されたスラッジ・滞留水を分析した結果を報告する。
- R/Bの内部で採取された試料は、汚染状態を把握する上で優先度が高い。1号機R/Bオペレーティングフロアから採取されたボーリングコア試料(コンクリート及び表面塗膜)を分析した結果を報告する。

2及び3号機 PCV 滞留水一試料の性状、分析内容

■ PCV内部調査(2号機 2013年8月、3号機 2015年10月)にて採取された滞留水(LI-2RB5-1~2、LI-3RB5-1~2)を試料として、以下の核種を分析した。ICP-AESを用いた元素分析も実施した。

❖ ^3H , ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{94}Nb , ^{106}Ru , ^{137}Cs , ^{144}Ce , ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{234}U , ^{235}U , ^{236}U , ^{238}U , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{242}Cm , ^{244}Cm



3号機PCVからの滞留水試料の採取方法*

試料は、水面近傍(約0.1 m下)と水面下約0.7 mから採取された。

*「福島第一原子力発電所3号機原子炉格納容器(PCV)内部調査の実施結果について」, 汚染水対策現地調整会議, 2015年10月30日。

試料名	採取日	採取場所	線量率 ^{※1} ($\mu\text{Sv/h}$)	pH
LI-2RB5-1	2013.8.7	2号機PCV	56	7.4
LI-2RB5-2	2013.8.7	2号機PCV	62	7.3
LI-3RB5-1	2015.10.22	3号機PCV水面近傍	9.0	7.0
LI-3RB5-2	2015.10.22	3号機PCVグレーチング近傍	6.0	6.6

※1: 約50cm³を50cm³バイアル瓶に収納した時の表面線量率(γ)

2及び3号機PCV滞留水の核種分析結果①

試料名	放射能濃度[Bq/cm ³]					
	^3H (約12年)	^{60}Co (約5.3年)	^{90}Sr (約29年)	^{94}Nb (約 2.0×10^4 年)	^{106}Ru (約374日)	^{125}Sb (約2.8年)
LI-2RB5-1	$(6.9 \pm 0.1) \times 10^2$	$(3.6 \pm 0.1) \times 10^1$	$(6.6 \pm 0.1) \times 10^4$	$< 3 \times 10^{-1}$	$< 2 \times 10^2$	$(3.3 \pm 0.3) \times 10^1$
LI-2RB5-2	$(7.0 \pm 0.1) \times 10^2$	$(4.1 \pm 0.1) \times 10^1$	$(6.8 \pm 0.1) \times 10^4$	$< 3 \times 10^{-1}$	$< 2 \times 10^2$	$(9.4 \pm 0.3) \times 10^1$
LI-3RB5-1	$(3.5 \pm 0.1) \times 10^2$	$(2.2 \pm 0.1) \times 10^1$	$(7.5 \pm 0.2) \times 10^3$	$< 3 \times 10^{-1}$	$(7.1 \pm 2.0) \times 10^1$	$(5.3 \pm 0.2) \times 10^1$
LI-3RB5-2	$(2.0 \pm 0.1) \times 10^2$	$(1.1 \pm 0.1) \times 10^1$	$(4.4 \pm 0.1) \times 10^3$	$< 2 \times 10^{-1}$	$< 8 \times 10^1$	$(1.6 \pm 0.2) \times 10^1$

試料名	放射能濃度 [Bq/cm ³]			
	^{137}Cs (約30年)	^{144}Ce (約285日)	^{152}Eu (約14年)	^{154}Eu (約8.6年)
LI-2RB5-1	$(4.0 \pm 0.1) \times 10^3$	$(3.7 \pm 1.0) \times 10^2$	$< 2 \times 10^0$	$< 9 \times 10^{-1}$
LI-2RB5-2	$(4.2 \pm 0.1) \times 10^3$	$< 3 \times 10^2$	$< 3 \times 10^0$	$< 9 \times 10^{-1}$
LI-3RB5-1	$(1.8 \pm 0.1) \times 10^3$	$(2.9 \pm 0.4) \times 10^2$	$< 2 \times 10^0$	$(1.9 \pm 0.2) \times 10^0$
LI-3RB5-2	$(9.6 \pm 0.1) \times 10^2$	$(1.4 \pm 0.3) \times 10^2$	$< 1 \times 10^0$	$(7.8 \pm 0.9) \times 10^{-1}$

- 2号機PCV水については、 ^3H , ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{125}Sb , ^{137}Cs , ^{144}Ce を検出。
- 3号機PCV水については、上記に加え、 ^{106}Ru , ^{154}Eu を検出。
- 集中廃棄物処理建屋の滞留水では検出されていない、 ^{144}Ce や ^{154}Eu を検出。

2及び3号機PCV滞留水の核種分析結果②

試料名	放射能濃度 [Bq/cm ³]				235U/238U 質量比
	234U (約2.5×10 ⁵ 年)	235U (約7.0×10 ⁸ 年)	236U (約2.3×10 ⁷ 年)	238U (約4.5×10 ⁹ 年)	
LI-2RB5-1	(1.8±0.2)×10 ⁻⁴	(4.2±0.4)×10 ⁻⁶	(2.8±0.3)×10 ⁻⁵	(4.1±0.2)×10 ⁻⁵	1.6×10 ⁻²
LI-2RB5-2	(1.4±0.1)×10 ⁻⁴	(3.6±0.2)×10 ⁻⁶	(2.0±0.1)×10 ⁻⁵	(2.9±0.1)×10 ⁻⁵	1.9×10 ⁻²
LI-3RB5-1	(7.7±0.6)×10 ⁻⁴	(1.8±0.2)×10 ⁻⁵	(1.2±0.1)×10 ⁻⁴	(1.7±0.1)×10 ⁻⁴	1.6×10 ⁻²
LI-3RB5-2	(1.9±0.1)×10 ⁻⁴	(5.1±0.2)×10 ⁻⁶	(3.0±0.1)×10 ⁻⁵	(4.2±0.1)×10 ⁻⁵	1.9×10 ⁻²

試料名	放射能濃度 [Bq/cm ³]				
	238Pu (約88年)	239Pu+240Pu (約2.4×10 ⁴ 年 約6.6×10 ³ 年)	241Am (約4.3×10 ² 年)	242Cm (約163日)	244Cm (約18年)
LI-2RB5-1	(2.4±0.1)×10 ⁻¹	(7.3±0.5)×10 ⁻²	(6.3±0.5)×10 ⁻²	< 8×10 ⁰	(1.5±0.1)×10 ⁻¹
LI-2RB5-2	(2.2±0.1)×10 ⁻¹	(7.2±0.5)×10 ⁻²	(6.9±0.5)×10 ⁻²	< 8×10 ⁰	(1.5±0.1)×10 ⁻¹
LI-3RB5-1	(9.4±0.2)×10 ⁻¹	(2.7±0.1)×10 ⁻¹	(2.7±0.1)×10 ⁻¹	(3.0±0.7)×10 ¹	(3.8±0.2)×10 ⁻¹
LI-3RB5-2	(5.8±0.2)×10 ⁻¹	(1.8±0.1)×10 ⁻¹	(1.7±0.1)×10 ⁻¹	(2.6±0.6)×10 ¹	(2.3±0.1)×10 ⁻¹

- 2号機PCV水については、U, Pu, ²⁴¹Am, ²⁴⁴Cmを検出。
- 3号機PCV水については、上記に加え、²⁴²Cmを検出。
- PCV水中の²³⁵U/²³⁸U質量比は炉心燃料の値(1.9×10⁻²)※と同等。

IRID

放射能濃度は、2011.3.11において補正。 分析値の±の後の数値は、©International Research Institute for Nuclear Decommissioning 計数値誤差である。
 ※: 被照射燃料について計算した2011.3.11時点の放射能(JAEA報告書「JAEA-Data/Code 2012-018」)

2及び3号機PCV滞留水の元素分析結果

試料名	元素濃度 (mg/L)										
	B	Na	Mg	Si	Ca	Mn	Fe	Zn	Sr	Ba	Pb
LI-2RB5-1	< 5	< 2.5	< 5	< 5	< 2.5	< 5	N.D.*	N.D.*	< 0.25	< 5	N.D.*
LI-2RB5-2	< 5	< 2.5	< 5	< 5	< 2.5	< 5	< 5	N.D.*	< 0.25	< 5	N.D.*
LI-3RB5-1	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	N.D.*	N.D.*	< 0.5	< 5	N.D.*
LI-3RB5-2	N.D.*	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	N.D.*	N.D.*	< 0.5	< 5	N.D.*

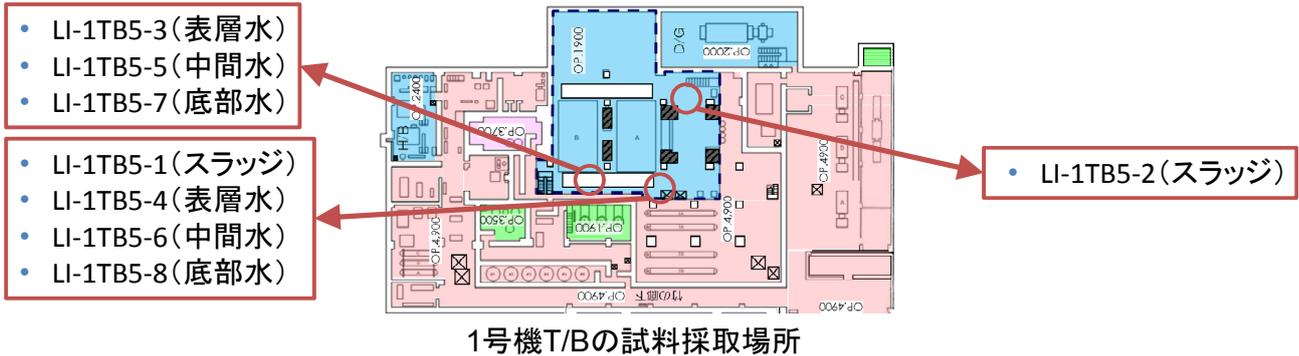
*: 定性分析でピークが確認できなかった元素

- ICP-AESを用いた定性分析モードでピークが検出された元素を定量し、全て定量下限未満であった。

1号機タービン建屋スラッジ・滞留水 — 試料の性状

- 2015年9～10月に滞留水処理の検討のため1号機タービン建屋地下1階にて採取されたスラッジ(LI-1TB5-1～2)および滞留水(LI-1TB5-3～8)を分析した。

試料名	採取日	採取場所	固体分	線量率 ^{※2} (μSv/h)	pH	
T/B スラッジ	LI-1TB5-1	2015.9.30	1号機T/B OP1900	1.3 g/L ^{※1}	13	
	LI-1TB5-2	2015.10.7	同上	7.2 g/L ^{※1}	60	
T/B 滞留水	LI-1TB5-3	2015.9.30	1号機T/B OP1900上部	無	6.2	8.2
	LI-1TB5-4	2015.9.30	同上	無	6.0	8.2
	LI-1TB5-5	2015.9.30	同上	無	5.8	8.1
	LI-1TB5-6	2015.9.30	同上	無	5.6	8.3
	LI-1TB5-7	2015.9.30	同上	0.48 g/L ^{※1}	6.7	8.2 ^{※3}
	LI-1TB5-8	2015.9.30	同上	0.22 g/L ^{※1}	7.4	8.1 ^{※3}



IRID ^{※1}:ろ過法により固液分離し、乾燥後のスラッジ成分の質量から算出 ^{※2}:約50cm³を50cm³バイアル瓶に収納した時の表面線量率(γ) ^{※3}:ろ過法により固液分離したろ液のpH

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

1号機タービン建屋スラッジ・滞留水 — スラッジ採取方法と分析内容

- スラッジの採取方法
 - OP1900の床面にサンプリング装置を設置。
 - 装置内に清水を圧送し(使用した清水は10～15L)、装置内にスラッジを舞い上がらせて、約5 Lの懸濁液を容器に回収。
 - 回収液を静置後、上澄液を廃棄し、約250 cm³と約290 cm³の試料を得た。
 - 攪拌により懸濁させて各50 cm³を分取した。
- 分析内容
 - スラッジ試料(LI-1TB5-1, 2)および固形分を含む水試料(LI-1TB5-7, 8)は、固液分離して、固体分は酸抽出し、分析を行った。滞留水試料固体分中の濃度は水に対して算出した。
 - 核種は、³H、⁶⁰Co、⁹⁰Sr、⁹⁴Nb、¹³⁷Cs、¹⁵²Eu、¹⁵⁴Eu、²³⁴U、²³⁵U、²³⁶U、²³⁸U、²³⁸Pu、²³⁹⁺²⁴⁰Pu、²⁴¹Am、²⁴⁴Cmを分析した。
 - ICP-AESを用いた元素分析も実施した。

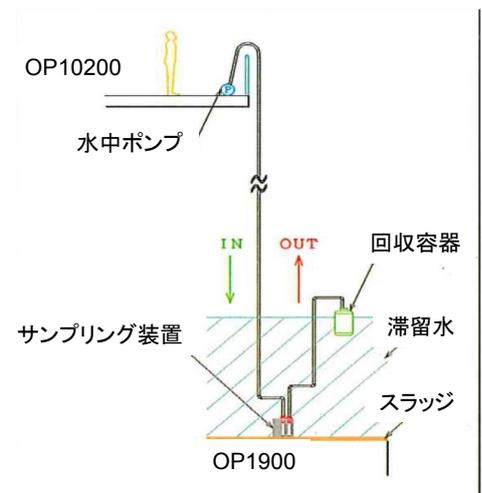


図 スラッジの採取方法

1号機タービン建屋スラッジ・滞留水 — 核種分析結果①

試料名		放射能濃度 [Bq/g]				
		⁶⁰ Co (約5.3年)	⁹⁴ Nb (約2.0×10 ⁴ 年)	¹³⁷ Cs (約30年)	¹⁵² Eu (約14年)	¹⁵⁴ Eu (約8.6年)
スラッジ	LI-1TB5-1	< 1 × 10 ³	< 7 × 10 ²	(3.7±0.1) × 10 ⁶	< 6 × 10 ³	< 3 × 10 ³
	LI-1TB5-2	(3.1±0.4) × 10 ²	< 3 × 10 ¹	(3.7±0.1) × 10 ⁶	< 2 × 10 ²	< 2 × 10 ²
滞留水 (固形分)	LI-1TB5-7(固形分)	< 2 × 10 ³	< 8 × 10 ²	(4.1±0.1) × 10 ⁵	< 5 × 10 ³	< 4 × 10 ³
	LI-1TB5-8(固形分)	< 3 × 10 ³	< 2 × 10 ³	(2.1±0.1) × 10 ⁶	< 2 × 10 ⁴	< 6 × 10 ³

試料名		放射能濃度 [Bq/cm ³]				
		⁶⁰ Co	⁹⁴ Nb	¹³⁷ Cs	¹⁵² Eu	¹⁵⁴ Eu
滞留水	LI-1TB5-3	< 8 × 10 ⁻¹	< 6 × 10 ⁻¹	(2.8±0.1) × 10 ³	< 5 × 10 ⁰	< 2 × 10 ⁰
	LI-1TB5-4	< 8 × 10 ⁻¹	< 7 × 10 ⁻¹	(2.9±0.1) × 10 ³	< 5 × 10 ⁰	< 2 × 10 ⁰
	LI-1TB5-5	< 8 × 10 ⁻¹	< 6 × 10 ⁻¹	(2.8±0.1) × 10 ³	< 5 × 10 ⁰	< 2 × 10 ⁰
	LI-1TB5-6	< 9 × 10 ⁻¹	< 6 × 10 ⁻¹	(2.7±0.1) × 10 ³	< 5 × 10 ⁰	< 2 × 10 ⁰
	LI-1TB5-7(上澄液)	< 8 × 10 ⁻¹	< 6 × 10 ⁻¹	(2.7±0.1) × 10 ³	< 5 × 10 ⁰	< 2 × 10 ⁰
	LI-1TB5-8(上澄液)	< 9 × 10 ⁻¹	< 6 × 10 ⁻¹	(3.0±0.1) × 10 ³	< 5 × 10 ⁰	< 2 × 10 ⁰

- ¹³⁷Csは、滞留水に比べてスラッジの濃度が高い。
- ⁶⁰Coはスラッジの1試料のみで検出。⁹⁴Nb, ¹⁵²Eu, ¹⁵⁴Euはすべての試料で不検出。

1号機タービン建屋スラッジ・滞留水 — 核種分析結果②

試料名		放射能濃度 [Bq/g]
		⁹⁰ Sr (約29年)
スラッジ	LI-1TB5-1	(4.7±0.2) × 10 ⁴
	LI-1TB5-2	(7.1±0.2) × 10 ³
滞留水 (固形分)	LI-1TB5-7(固形分)	(1.2±0.1) × 10 ⁵
	LI-1TB5-8(固形分)	(1.4±0.1) × 10 ⁵

試料名		放射能濃度 [Bq/cm ³]	
		³ H(約12年)	⁹⁰ Sr
滞留水	LI-1TB5-3	(2.7±0.1) × 10 ¹	(5.4±0.2) × 10 ²
	LI-1TB5-4	(3.2±0.1) × 10 ¹	(5.4±0.2) × 10 ²
	LI-1TB5-5	(2.7±0.1) × 10 ¹	(4.9±0.2) × 10 ²
	LI-1TB5-6	(2.6±0.1) × 10 ¹	(4.6±0.2) × 10 ²
	LI-1TB5-7(上澄液)	(2.4±0.1) × 10 ¹	(3.9±0.2) × 10 ²
	LI-1TB5-8(上澄液)	(2.2±0.1) × 10 ¹	(3.7±0.1) × 10 ²

- ⁹⁰Srはスラッジの濃度が滞留水に比べて高い。
- 滞留水では、集中廃棄物処理建屋試料に比べて³H, ⁹⁰Sr濃度が低い。

1号機タービン建屋スラッジ・滞留水 — 核種分析結果③

試料名	放射能濃度 [Bq/g]				²³⁵ U/ ²³⁸ U 質量比	
	²³⁴ U (約2.5×10 ⁵ 年)	²³⁵ U (約7.0×10 ⁸ 年)	²³⁶ U (約2.3×10 ⁷ 年)	²³⁸ U (約4.5×10 ⁹ 年)		
スラッジ	LI-1TB5-1	(3.0±0.3)×10 ⁻¹	(1.5±0.1)×10 ⁻²	(3.1±0.3)×10 ⁻³	(3.2±0.1)×10 ⁻¹	7.1×10 ⁻³
	LI-1TB5-2	(2.1±0.2)×10 ⁻¹	(9.2±0.5)×10 ⁻³	(7.1±0.7)×10 ⁻⁴	(2.1±0.1)×10 ⁻¹	6.9×10 ⁻³
滞留水 (固形分)	LI-1TB5-7(固形分)	(9.2±8.1)×10 ⁻²	(7.3±0.4)×10 ⁻³	(1.6±0.9)×10 ⁻³	(1.6±0.1)×10 ⁻¹	6.9×10 ⁻³
	LI-1TB5-8(固形分)	< 1.0×10 ⁻¹	(5.0±0.3)×10 ⁻³	(4.5±1.7)×10 ⁻³	(1.0±0.1)×10 ⁻¹	7.4×10 ⁻³

試料名	放射能濃度 [Bq/cm ³]				²³⁵ U/ ²³⁸ U 質量比	
	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁶ U	²³⁸ U		
滞留水	LI-1TB5-3	< 1×10 ⁻⁵	(1.1±0.1)×10 ⁻⁷	< 2×10 ⁻⁷	(2.1±0.1)×10 ⁻⁶	7.6×10 ⁻³
	LI-1TB5-4	< 1×10 ⁻⁵	(1.0±0.1)×10 ⁻⁷	< 2×10 ⁻⁷	(2.1±0.1)×10 ⁻⁶	7.6×10 ⁻³
	LI-1TB5-5	< 1×10 ⁻⁵	(9.2±0.5)×10 ⁻⁸	< 2×10 ⁻⁷	(1.9±0.1)×10 ⁻⁶	7.5×10 ⁻³
	LI-1TB5-6	< 7×10 ⁻⁶	(8.2±0.3)×10 ⁻⁸	< 8×10 ⁻⁸	(1.7±0.1)×10 ⁻⁶	7.1×10 ⁻³
	LI-1TB5-7(上澄液)	< 3×10 ⁻⁵	(1.5±0.1)×10 ⁻⁷	< 2×10 ⁻⁷	(3.1±0.1)×10 ⁻⁶	7.2×10 ⁻³
	LI-1TB5-8(上澄液)	< 3×10 ⁻⁵	(1.3±0.1)×10 ⁻⁷	< 2×10 ⁻⁷	(2.4±0.1)×10 ⁻⁶	8.4×10 ⁻³

- スラッジ試料から²³⁴U, ²³⁵U, ²³⁶U, ²³⁸Uを、滞留水試料から²³⁵U, ²³⁸Uを検出。
- スラッジ中および滞留水中の²³⁵U/²³⁸U質量比は天然ウランの値(7.3×10⁻³)に近く、天然由来のウランの影響が大きい。

IRID

・放射能濃度は、2011.3.11において補正。・核種の下括弧内は半減期。
・分析値の±の後の数値は、計数値誤差。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

1号機タービン建屋スラッジ・滞留水 — 核種分析結果④

試料名	放射能濃度 [Bq/g]				
	²³⁸ Pu (約88年)	²³⁹ Pu+ ²⁴⁰ Pu (約2.4×10 ⁴ 年 約6.6×10 ³ 年)	²⁴¹ Am (約4.3×10 ² 年)	²⁴⁴ Cm (約18年)	
スラッジ	LI-1TB5-1	(1.1±0.3)×10 ⁰	< 6×10 ⁻¹	< 8×10 ⁻¹	(8.1±2.3)×10 ⁻¹
	LI-1TB5-2	(7.0±0.8)×10 ⁻¹	(1.3±0.4)×10 ⁻¹	(1.8±0.5)×10 ⁻¹	(3.6±0.7)×10 ⁻¹
滞留水 (固形分)	LI-1TB5-7(固形分)	< 5×10 ⁰	< 3×10 ⁰	< 4×10 ⁰	< 4×10 ⁰
	LI-1TB5-8(固形分)	< 5×10 ⁰	< 3×10 ⁰	< 5×10 ⁰	< 4×10 ⁰

試料名	放射能濃度 [Bq/cm ³]				
	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu+ ²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am	²⁴⁴ Cm	
滞留水	LI-1TB5-3	< 5×10 ⁻⁴	< 4×10 ⁻⁴	< 6×10 ⁻⁴	< 4×10 ⁻⁴
	LI-1TB5-4	< 6×10 ⁻⁴	< 4×10 ⁻⁴	< 7×10 ⁻⁴	< 4×10 ⁻⁴
	LI-1TB5-5	< 7×10 ⁻⁴	< 4×10 ⁻⁴	< 5×10 ⁻⁴	< 5×10 ⁻⁴
	LI-1TB5-6	< 6×10 ⁻⁴	< 4×10 ⁻⁴	< 5×10 ⁻⁴	< 5×10 ⁻⁴
	LI-1TB5-7(上澄液)	< 5×10 ⁻⁴	< 3×10 ⁻⁴	< 6×10 ⁻⁴	< 5×10 ⁻⁴
	LI-1TB5-8(上澄液)	< 5×10 ⁻⁴	< 3×10 ⁻⁴	< 6×10 ⁻⁴	< 5×10 ⁻⁴

- スラッジ試料からは、α核種を検出。以前に分析した1号機T/B砂・スラッジ試料の値と同程度。
- 滞留水試料については、α核種は全て不検出。

IRID

・放射能濃度は、2011.3.11において補正。・核種の下括弧内は半減期。
・分析値の±の後の数値は、計数値誤差。

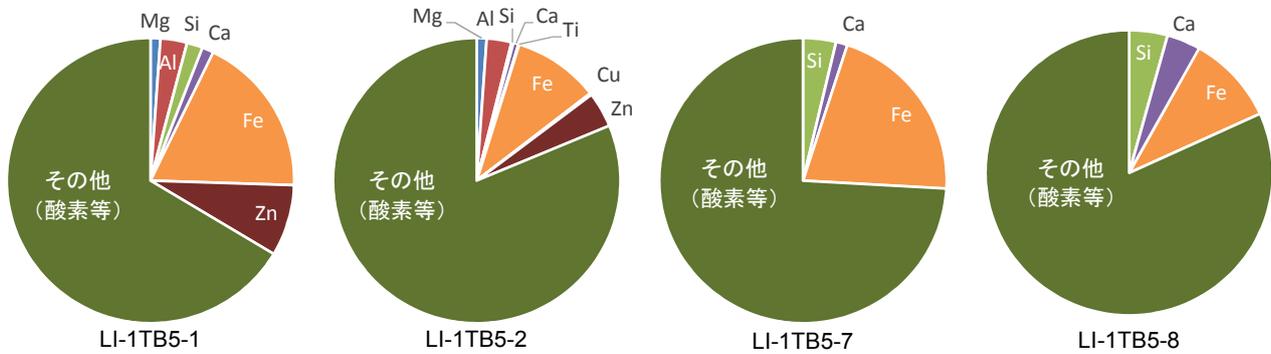
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

1号機タービン建屋スラッジ・滞留水 — 元素分析結果 (スラッジおよび滞留水内固形分)

スラッジ・固形分酸抽出液の元素組成※ (%)

試料名	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Fe	Cu	Zn
LI-1TB5-1	1.1	3.0	1.8	1.3	N.D.	18.3	N.D.	8.1
LI-1TB5-2	1.1	2.8	0.2	0.6	0.1	9.7	0.2	4.0
LI-1TB5-7(固形分)	N.D.	N.D.	3.7	1.3	N.D.	20.9	N.D.	N.D.
LI-1TB5-8(固形分)	N.D.	N.D.	4.3	3.8	N.D.	10.1	N.D.	N.D.

※: ICP-AESにより分析した。N.D.は定性分析で有意なピークがなく不検出であったことを表す。

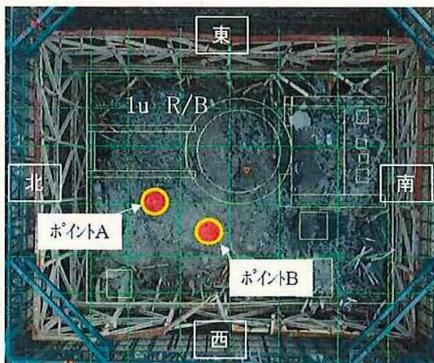


- スラッジと滞留水固形分はいずれも Fe が多い。
- 滞留水固形分は、Fe/Siの比がスラッジと異なることから、両者の組成が異なる可能性が示唆される。

1号機原子炉建屋内瓦礫 - 分析内容

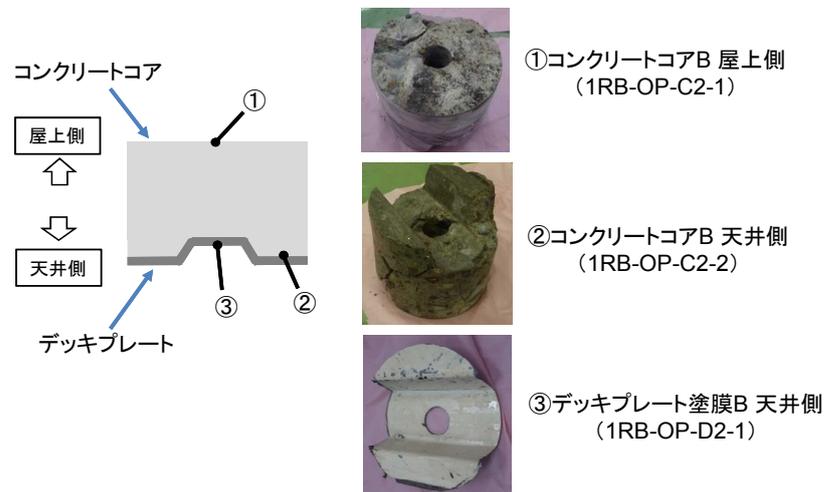
- 1号機原子炉建屋カバー解体工事のガレキ状況先行調査において、2016年4月にオペレーティングフロアの崩落屋根より採取されたボーリングコア試料(直径約200 mm)から、コンクリートとデッキプレートの表面を研磨して試料とし、以下の核種を分析した。

❖ ^3H , ^{14}C , ^{60}Co , ^{63}Ni , ^{79}Se , ^{90}Sr , ^{94}Nb , ^{99}Tc , ^{126}Sn , ^{129}I , ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{244}Cm , 全 α



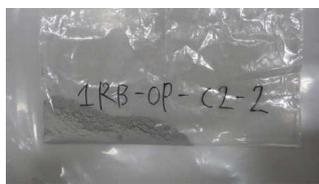
●: 試料採取箇所

1号機R/Bオペレーティングフロア ※

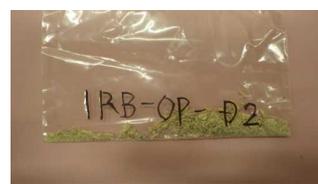


1号機原子炉建屋内瓦礫 - 試料の性状

No.	形状等	試料名	場所	表面線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	質量 (g)
1	コンクリート	1RB-OP-C1-1	1号機R/B屋上 コンクリートコアA 屋上側	4.2	5.46
2	コンクリート	1RB-OP-C1-2	1号機R/B屋上 コンクリートコアA 天井側	130	5.67
3	塗膜	1RB-OP-D1-1	1号機R/B天井 デッキプレート塗膜A 天井側	980	0.54
4	コンクリート	1RB-OP-C2-1	1号機R/B屋上 コンクリートコアB 屋上側	2.3	5.50
5	コンクリート	1RB-OP-C2-2	1号機R/B屋上 コンクリートコアB 天井側	4.3	6.16
6	塗膜	1RB-OP-D2-1	1号機R/B天井 デッキプレート塗膜B 天井側	25	0.55



コンクリート試料の外観



塗膜試料の外観

1号機原子炉建屋内瓦礫の核種分析結果 ①

No.	試料名	放射能濃度(Bq/g)				
		^{60}Co (約5.3年)	^{94}Nb (約 2.0×10^4 年)	^{137}Cs (約30年)	^{152}Eu (約14年)	^{154}Eu (約8.6年)
1	1RB-OP-C1-1	$(8.1 \pm 1.2) \times 10^{-1}$	$< 3 \times 10^{-1}$	$(9.0 \pm 0.1) \times 10^3$	$< 2 \times 10^0$	$< 1 \times 10^0$
2	1RB-OP-C1-2	$(1.0 \pm 0.1) \times 10^1$	$< 2 \times 10^{-1}$	$(4.2 \pm 0.1) \times 10^5$	$< 2 \times 10^0$	$(2.1 \pm 0.3) \times 10^0$
3	1RB-OP-D1-1	$(2.3 \pm 0.1) \times 10^2$	$< 5 \times 10^0$	$(2.3 \pm 0.1) \times 10^6$	$< 5 \times 10^1$	$(5.2 \pm 0.6) \times 10^1$
4	1RB-OP-C2-1	$< 4 \times 10^{-1}$	$< 2 \times 10^{-1}$	$(1.2 \pm 0.1) \times 10^3$	$< 2 \times 10^0$	$< 9 \times 10^{-1}$
5	1RB-OP-C2-2	$< 4 \times 10^{-1}$	$< 2 \times 10^{-1}$	$(1.0 \pm 0.1) \times 10^4$	$< 2 \times 10^0$	$< 8 \times 10^{-1}$
6	1RB-OP-D2-1	$(8.8 \pm 0.3) \times 10^1$	$< 4 \times 10^0$	$(7.4 \pm 0.1) \times 10^5$	$< 4 \times 10^1$	$< 2 \times 10^1$

No.	試料名	放射能濃度(Bq/g)			
		^3H (約12年)	^{14}C (約 5.7×10^3 年)	^{63}Ni (約 1.0×10^2 年)	^{79}Se (約 6.5×10^4 年)
1	1RB-OP-C1-1	$(1.3 \pm 0.1) \times 10^0$	$(1.9 \pm 0.1) \times 10^0$	$< 2 \times 10^{-1}$	$< 2 \times 10^{-1}$
2	1RB-OP-C1-2	$(5.3 \pm 0.1) \times 10^1$	$(3.5 \pm 0.1) \times 10^1$	$< 2 \times 10^{-1}$	$(2.9 \pm 0.5) \times 10^{-1}$
3	1RB-OP-D1-1	$(3.3 \pm 0.1) \times 10^2$	$(4.6 \pm 0.2) \times 10^0$	$(3.7 \pm 0.2) \times 10^1$	$(2.8 \pm 0.4) \times 10^0$
4	1RB-OP-C2-1	$(9.9 \pm 0.5) \times 10^{-1}$	$(3.8 \pm 0.3) \times 10^{-1}$	$< 2 \times 10^{-1}$	$< 2 \times 10^{-1}$
5	1RB-OP-C2-2	$(3.9 \pm 0.1) \times 10^0$	$(2.7 \pm 0.1) \times 10^1$	$< 2 \times 10^{-1}$	$< 2 \times 10^{-1}$
6	1RB-OP-D2-1	$(1.8 \pm 0.1) \times 10^2$	$(1.2 \pm 0.2) \times 10^0$	$(1.3 \pm 0.1) \times 10^1$	$< 2 \times 10^0$

- 表面線量率が高かった試料 (No.2, 3) から ^{79}Se , ^{154}Eu を検出。
- いずれの核種も、屋上側に比べて天井側の濃度が高い傾向にある。

No.	試料名	放射能濃度(Bq/g)			
		⁹⁰ Sr (約29年)	⁹⁹ Tc (約2.1×10 ⁵ 年)	¹²⁶ Sn (約1.0×10 ⁵ 年)	¹²⁹ I (約1.6×10 ⁷ 年)
1	1RB-OP-C1-1	(1.1±0.1) × 10 ¹	< 2 × 10 ⁻¹		< 2 × 10 ⁻¹
2	1RB-OP-C1-2	(1.1±0.1) × 10 ³	(1.3±0.4) × 10 ⁻¹		(3.2±0.1) × 10 ⁰
3	1RB-OP-D1-1	(1.9±0.1) × 10 ³	(2.3±0.4) × 10 ⁰	< 6 × 10 ⁰	(2.3±0.1) × 10 ¹
4	1RB-OP-C2-1	(2.3±0.1) × 10 ⁰	< 2 × 10 ⁻¹		< 2 × 10 ⁻¹
5	1RB-OP-C2-2	(6.7±0.1) × 10 ⁰	(1.5±0.3) × 10 ⁻¹		< 2 × 10 ⁻¹
6	1RB-OP-D2-1	(1.3±0.1) × 10 ³	< 2 × 10 ⁰	< 5 × 10 ⁰	(9.4±0.3) × 10 ⁰

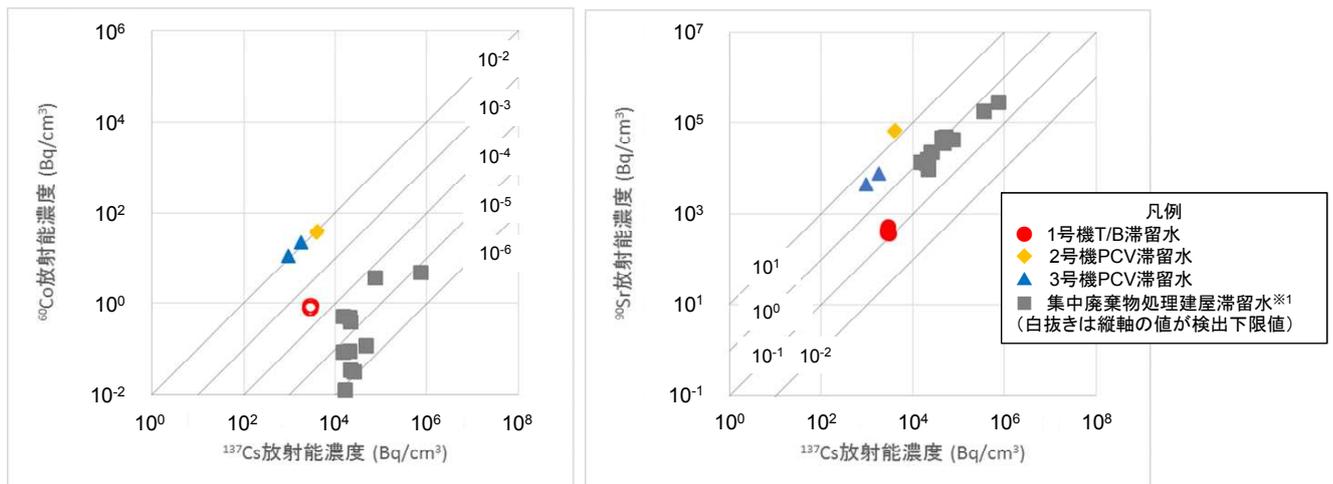
No.	試料名	放射能濃度(Bq/g)				全α
		²³⁸ Pu (約88年)	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu (約2.4×10 ⁴ 年 約6.6×10 ³ 年)	²⁴¹ Am (約4.3×10 ² 年)	²⁴⁴ Cm (約18年)	
1	1RB-OP-C1-1					(7.1±1.3) × 10 ⁻³
2	1RB-OP-C1-2					(7.0±0.4) × 10 ⁻²
3	1RB-OP-D1-1	(9.4±1.7) × 10 ⁻¹	(3.0±0.9) × 10 ⁻¹	(4.8±0.7) × 10 ⁻¹	(2.5±0.6) × 10 ⁻¹	
4	1RB-OP-C2-1					< 2 × 10 ⁻³
5	1RB-OP-C2-2					< 2 × 10 ⁻³
6	1RB-OP-D2-1					(4.3±0.8) × 10 ⁻¹

- 表面線量率が高かった試料 (No.2, 3) から⁹⁹Tc, ¹²⁹Iを検出。
- いずれの核種も、屋上側に比べて天井側の濃度が高い傾向にある。

・放射能濃度は、2011.3.11において補正。・核種の下括弧内は半減期。
 ・分析値の土の後の数値は、計数値誤差。 ²³⁹⁺²⁴⁰Puの半減期補正は²⁴⁰Puの半減期(約6.6×10³年)を使用。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

既往の滞留水データとの比較① —⁶⁰Co, ⁹⁰Srと¹³⁷Cs濃度の関係—



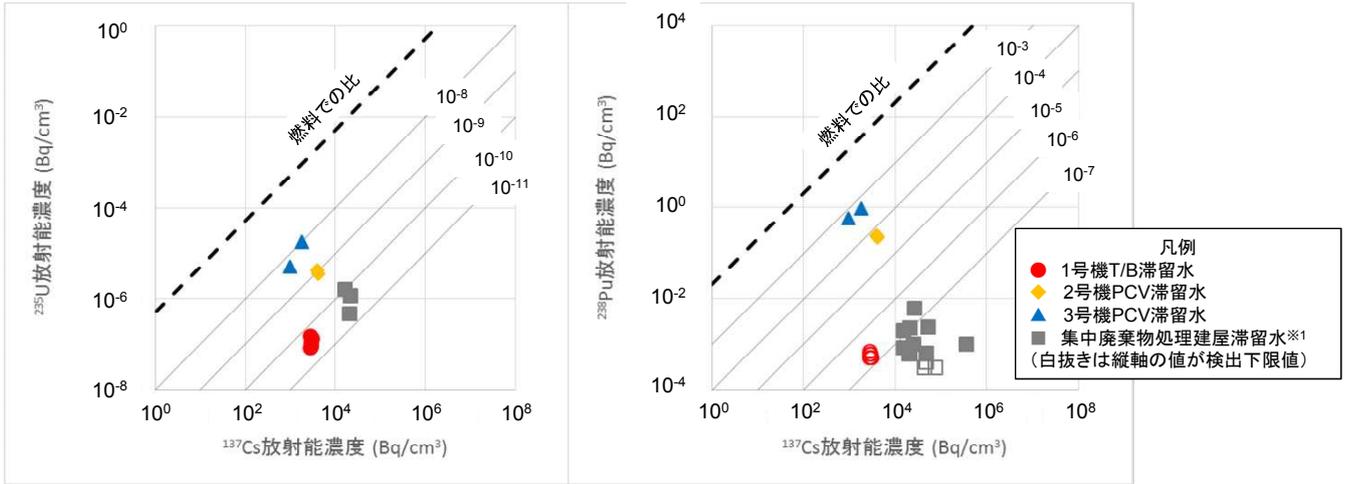
- ⁶⁰Co/¹³⁷Cs比は、2号機と3号機で同程度。⁹⁰Sr/¹³⁷Cs比は、2号機の方が3号機よりも大きい。
- 2号機及び3号機PCV滞留水の⁶⁰Co/¹³⁷Cs比及び⁹⁰Sr/¹³⁷Cs比は、1号機T/Bや集中廃棄物処理建屋滞留水よりも大きく、下流側で濃度が低下する傾向を示す。

⁶⁰ Co/ ¹³⁷ Cs比	1号機T/B	2号機PCV	3号機PCV	⁹⁰ Sr/ ¹³⁷ Cs比	1号機T/B	2号機PCV	3号機PCV
滞留水※2	< 3 × 10 ⁻⁴	9.4 × 10 ⁻³	1.2 × 10 ⁻²	滞留水※2	1.7 × 10 ⁻¹	1.6 × 10 ¹	4.4 × 10 ⁰
燃料※3	1.3 × 10 ⁻⁵	1.4 × 10 ⁻⁵	1.4 × 10 ⁻⁵	燃料※3	7.4 × 10 ⁻¹	7.5 × 10 ⁻¹	7.5 × 10 ⁻¹

※1: 2012年度～2015年度取得データ
 ※2: 本報告取得データの平均値
 ※3: 被照射燃料について計算した2011.3.11時点の放射能(日本原子力研究開発機構報告書「JAEA-Data/Code 2012-018」)

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

既往の滞留水データとの比較② —²³⁵U, ²³⁸Puと¹³⁷Cs濃度の関係—

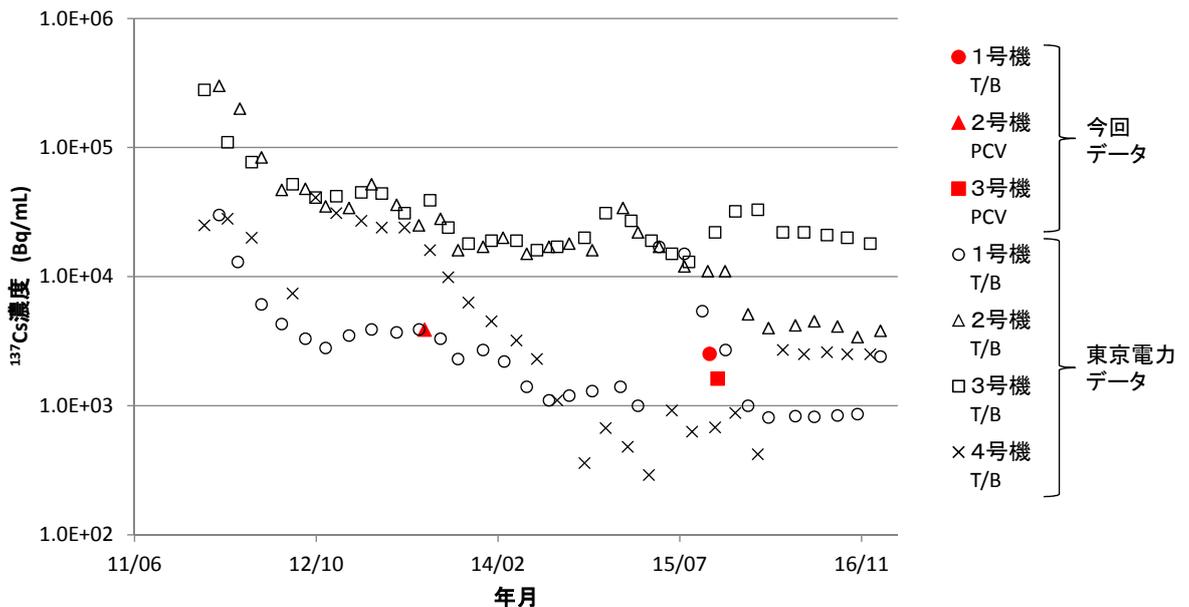


- ²³⁵U/¹³⁷Cs比及び²³⁸Pu/¹³⁷Cs比は、燃料>3号機PCV>2号機PCV>1号機T/B～集中廃棄物処理建屋(プロセス主建屋、高温焼却炉建屋)である。
- UやPuの濃度は、T/Bから下流側で低下している。

²³⁵ U/ ¹³⁷ Cs比	1号機T/B	2号機PCV	3号機PCV
滞留水※2	3.9×10^{-11}	9.5×10^{-10}	7.7×10^{-9}
燃料※3	4.4×10^{-7}	5.3×10^{-7}	5.6×10^{-7}

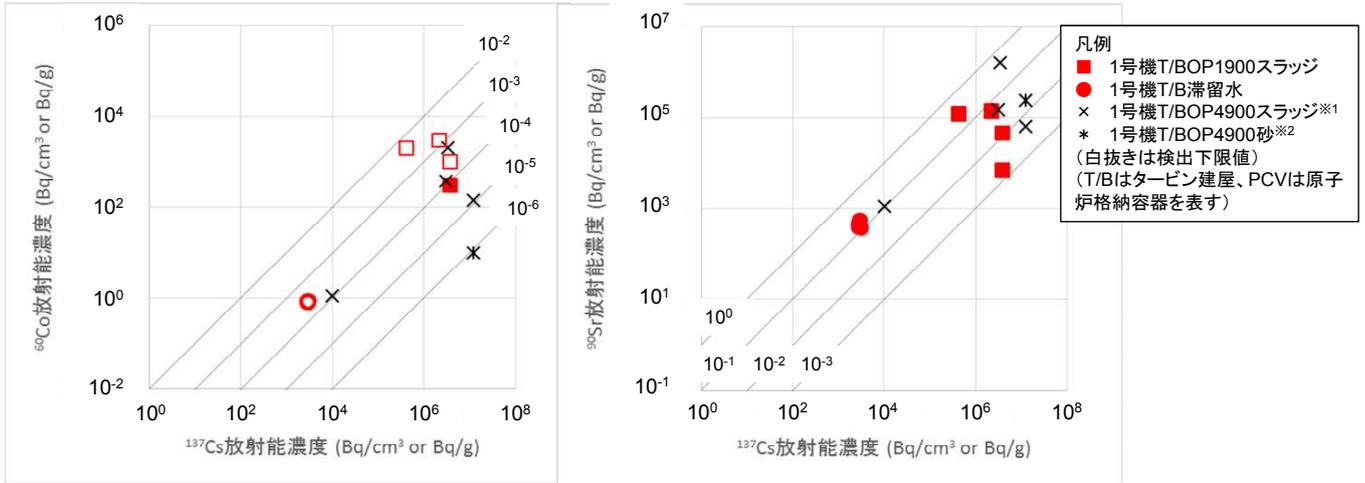
²³⁸ Pu/ ¹³⁷ Cs比	1号機T/B	2号機PCV	3号機PCV
滞留水※2	$< 7 \times 10^{-7}$	5.6×10^{-5}	5.6×10^{-4}
燃料※3	2.3×10^{-2}	1.8×10^{-2}	2.3×10^{-2}

既往の滞留データとの比較③ —タービン建屋滞留水との¹³⁷Cs濃度の比較—



- 1号機T/B滞留水の¹³⁷Cs濃度は、東京電力データと整合する結果であった。
- 2および3号機PCV水の¹³⁷Cs濃度は、T/Bに比べて1桁程度低い。PCV上部水中の放射性核種濃度が低いことから、PCV滞留水内で濃度分布があるものとみられる。

既往の1号機T/Bスラッジ等データとの比較① — ^{60}Co , ^{90}Sr と ^{137}Cs 濃度の関係

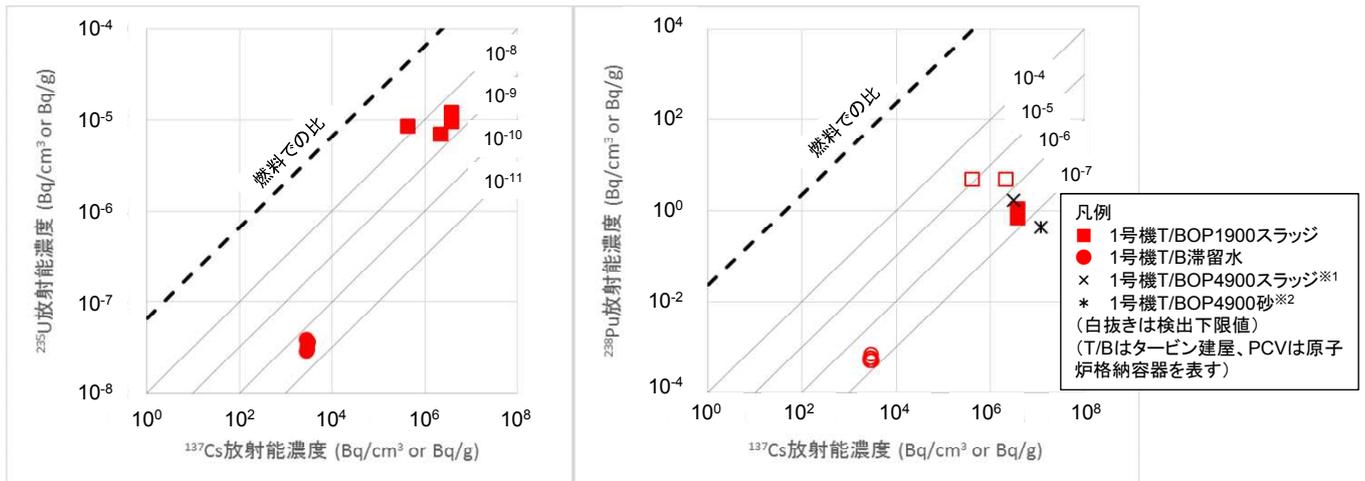


- $^{60}\text{Co}/^{137}\text{Cs}$ 比及び $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 比は、1号機T/Bスラッジと1号機T/B 滞留水で同程度。
- $^{60}\text{Co}/^{137}\text{Cs}$ 比は、燃料に比べてスラッジの方が高い。燃料以外の放射化生成物の寄与が考えられる。
- $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 比は、1号機T/Bスラッジと1号機T/B 滞留水の両方も燃料に比べて低い。

$^{60}\text{Co}/^{137}\text{Cs}$ 比	1号機T/Bスラッジ	1号機T/B滞留水
分析試料 ^{※3}	1.8×10^{-4}	$< 3 \times 10^{-4}$
燃料 ^{※4}	1.3×10^{-5}	

$^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 比	1号機T/Bスラッジ	1号機T/B滞留水
分析試料 ^{※3}	1.3×10^{-1}	1.7×10^{-1}
燃料 ^{※4}		7.4×10^{-1}

既往の1号機T/Bスラッジ等データとの比較② — ^{235}U , ^{238}Pu と ^{137}Cs 濃度の関係



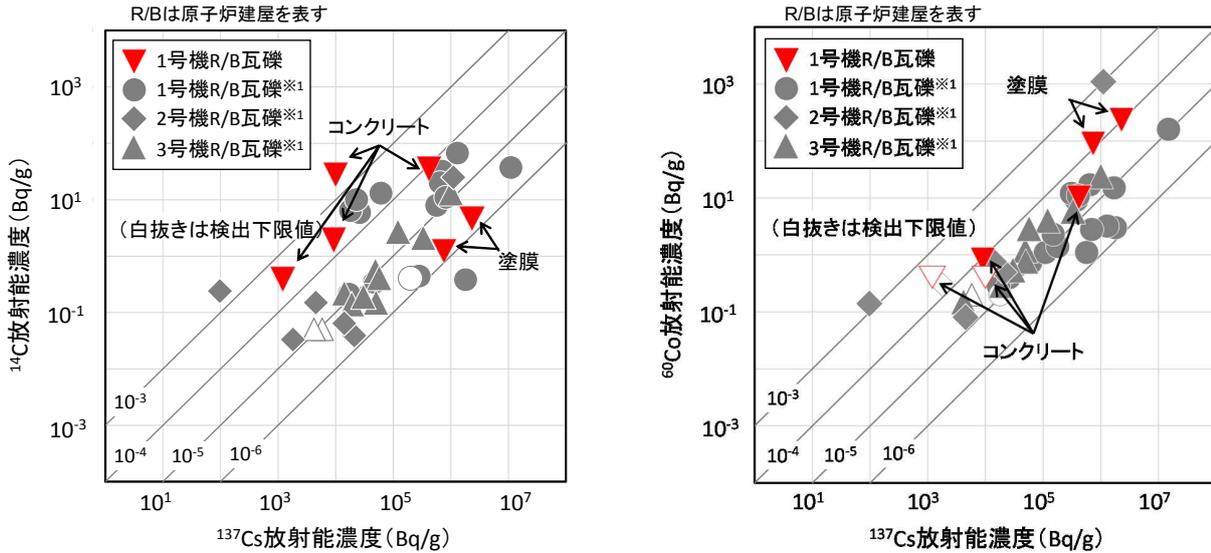
- 1号機T/B スラッジについて、 $^{238}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ 比はT/B滞留水と同程度である。一方で、 $^{235}\text{U}/^{137}\text{Cs}$ 比はT/B滞留水より高く、天然由来のウランの寄与がうかがわれる。
- $^{235}\text{U}/^{137}\text{Cs}$ 比及び $^{238}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ 比は、燃料中に比べて2桁以上低く、UとPuの移行は小さい。

$^{235}\text{U}/^{137}\text{Cs}$ 比	1号機T/Bスラッジ	1号機T/B滞留水
分析試料 ^{※3}	6.7×10^{-9}	3.9×10^{-11}
燃料 ^{※4}	4.4×10^{-7}	

$^{238}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ 比	1号機T/Bスラッジ	1号機T/B滞留水
分析試料 ^{※3}	3.4×10^{-7}	$< 2 \times 10^{-7}$
燃料 ^{※4}		2.3×10^{-2}

既往の原子炉建屋瓦礫データとの比較①

— ^{14}C , ^{60}Co と ^{137}Cs 濃度の関係 —



- $^{14}\text{C}/^{137}\text{Cs}$ 比は既往の1号機R/B瓦礫データと同程度。塗膜とコンクリートの違いが示唆される。
- $^{60}\text{Co}/^{137}\text{Cs}$ 比は既往のR/B瓦礫のデータと同程度。

$^{14}\text{C}/^{137}\text{Cs}$ 放射能濃度比	
1号機R/B瓦礫	1号機燃料※2
3.1×10^{-5}	1.0×10^{-6}

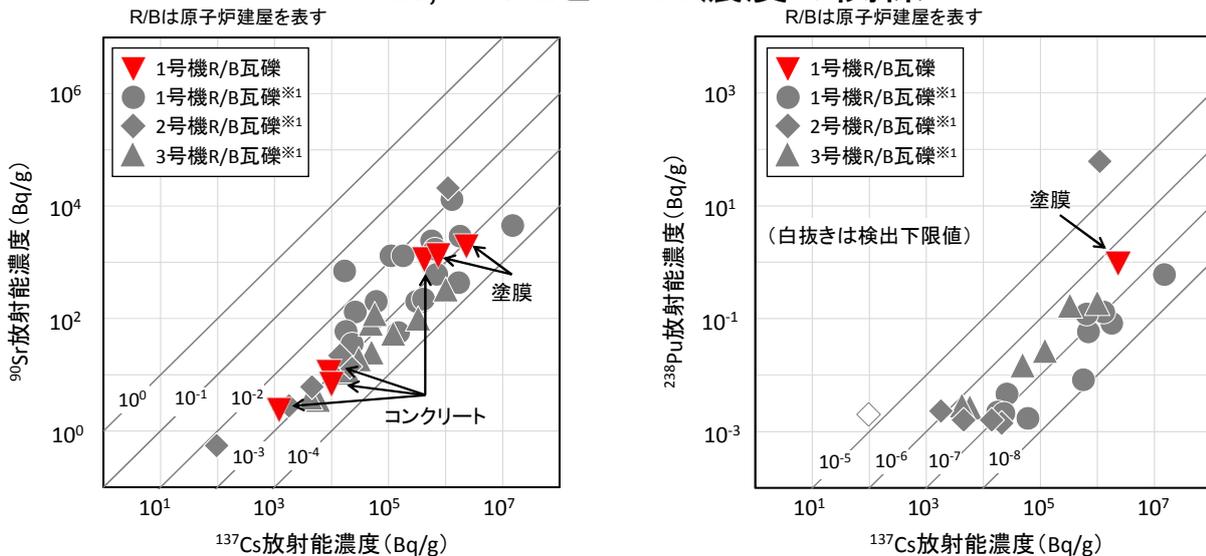
H26年度~本報告取得データの平均値

$^{60}\text{Co}/^{137}\text{Cs}$ 放射能濃度比	
1号機R/B瓦礫	1号機燃料※2
1.5×10^{-5}	1.3×10^{-5}

H26年度~本報告取得データの平均値

既往の原子炉建屋瓦礫データとの比較②

— ^{90}Sr , ^{238}Pu と ^{137}Cs 濃度の関係 —



- $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 比および $^{238}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ 比は、既往のR/B瓦礫のデータと同程度。
- $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 比および $^{238}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ 比は、燃料での比よりも2桁以上小さい。

$^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 放射能濃度比	
1号機R/B瓦礫	1号機燃料※2
1.8×10^{-3}	7.4×10^{-1}

H26年度~本報告取得データの平均値

$^{238}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ 放射能濃度比	
1号機R/B瓦礫	1号機燃料※2
8.0×10^{-8}	2.3×10^{-2}

H26年度~本報告取得データの平均値

- 2号機及び3号機PCV内滞留水、1号機T/Bスラッジ・滞留水並びに1号機R/Bオペレーティングフロアボーリングコアを分析し、それぞれ次の核種が検出された。

試料	³ H	⁶⁰ Co	⁹⁰ Sr	¹⁰⁶ Ru	¹²⁵ Sb	¹³⁷ Cs	¹⁴⁴ Ce	¹⁵⁴ Eu	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁶ U	²³⁸ U	²³⁸ Pu	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am	²⁴² Cm	²⁴⁴ Cm
2号機PCV滞留水	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
3号機PCV滞留水	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1号機T/Bスラッジ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
1号機T/B滞留水	✓		✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓					
1号機R/B瓦礫	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓

- ❖ 2号機及び3号機PCV並びに1号機T/Bの滞留水と、下流側の集中廃棄物処理建屋滞留水を比べると、UやPuの濃度がT/Bから下流側で低下している。
 - ❖ 1号機T/Bのスラッジは、これまでに得られた同建屋スラッジ・砂の分析データに整合する結果を示し、汚染組成が類似している。Uに関しては、天然由来のウランの影響が大きい。
 - ❖ 1号機R/Bの瓦礫は、これまでに得られた瓦礫の分析データと同程度の結果であり、汚染組成が類似している。屋上側に比べて天井側の濃度が高い傾向がみられた。
- 原子炉建屋の瓦礫と滞留水における放射性核種の分布に関する知見が得られた。データをさらに蓄積する必要があるため、試料の採取・入手と分析を継続して進める。

廃棄物試料の分析状況

報告年度	試料	試料数	発表等	
23-27	汚染水処理設備出入口水	<ul style="list-style-type: none"> 1~4号機T/B滞留水等 滞留水(集中RW地下、高温焼却炉建屋地下) 淡水化装置濃縮水 処理水(セシウム吸着装置、第二セシウム吸着装置、多核種除去設備) 	51	http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/images/handouts_110522_04-j.pdf http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/120924/120924_01jj.pdf http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/130627/130627_02kk.pdf http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/131128/131128_01ss.pdf http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensui taisakuteam/2015/pdf/0730_3_4c.pdf http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensui taisakuteam/2016/pdf/0331_3_4f.pdf
	瓦礫	<ul style="list-style-type: none"> 1、2、3号機R/B内瓦礫 1、2号機R/B内ボーリングコア 1、3、4号機周辺瓦礫 覆土式一時保管施設で採取した瓦礫 1号機T/B砂 	60	http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/130828/130828_01nn.pdf http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/150326/150326_01_3_7_04.pdf http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensui taisakuteam/2015/pdf/0827_3_4c.pdf http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensui taisakuteam/2016/pdf/0128_3_4d.pdf
	伐採木、立木、落葉、土壌	<ul style="list-style-type: none"> 伐採木(枝、葉) 構内各所の立木(枝葉)及び落葉、土壌 	128	http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/140130/140130_01tt.pdf http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/140227/140227_02ww.pdf http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/150326/150326_01_3_7_04.pdf
	汚染水処理二次廃棄物	<ul style="list-style-type: none"> 多核種除去設備スラリー(既設、増設) 	4	http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensui taisakuteam/2015/pdf/0827_3_4c.pdf http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensui taisakuteam/2016/pdf/0128_3_4d.pdf
28	汚染水処理二次廃棄物	<ul style="list-style-type: none"> 増設多核種除去設備スラリー 多核種除去設備吸着材 	3 5	http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensui taisakuteam/2016/09/3-04-05.pdf 採取できた吸着材2試料を輸送済備中
	瓦礫、スラッジ	<ul style="list-style-type: none"> 1号機T/B内スラッジ 1号機R/B内瓦礫 	4 14 6	http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensui taisakuteam/2016/09/3-04-05.pdf 本報告
	汚染水処理設備出入口水	<ul style="list-style-type: none"> 滞留水(集中RW地下、高温焼却炉建屋地下) 処理後水(セシウム吸着装置、第二セシウム吸着装置、多核種除去設備) 	7 21	分析中
	滞留水	<ul style="list-style-type: none"> 2、3号機PCV滞留水、1号機T/B滞留水 	12	本報告
	焼却灰	<ul style="list-style-type: none"> 焼却灰(雑固体廃棄物焼却設備) 	5	分析中
	土壌	<ul style="list-style-type: none"> 構内の土壌 	6	分析中